

*На правах рукописи*

Хасанова Рената Айтугановна

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ  
РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ  
БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнёва», г. Красноярск.

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Антамошкин Александр Николаевич**

**Официальные оппоненты:** **Крушенко Генрих Гаврилович**  
доктор технических наук, профессор  
Институт вычислительного моделирования  
СО РАН, г. Красноярск,  
главный научный сотрудник

**Царев Роман Юрьевич**  
кандидат технических наук, доцент,  
Сибирский федеральный университет  
доцент кафедры информатики  
Института космических и  
информационных технологий

**Ведущая организация:** Самарский государственный  
аэрокосмический университет имени  
академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский  
университет)

Защита состоится «30» сентября 2014 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.249.02, созданного на базе ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнёва» по адресу: 660014, г. Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнёва и на сайте СибГАУ: <http://www.sibsau.ru/index.php/nauka-i-innovatsii/dissertatsionnye-sovety/obyavleniya-o-zashchite-dissertatsij>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Александр Алексеевич  
Кузнецов

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** В настоящее время для промышленных предприятий остро стоит проблема унифицирования технологических процессов и сопроводительной документации. Эта необходимость обусловливается динамичным развитием технологий и постоянно растущими темпами производства. Чтобы не снижать темпы, необходимо максимально автоматизировать процесс сопровождения изделия на протяжении его жизненного цикла. В применении к ракетно-космической отрасли автоматизация должна охватить этапы создания космического аппарата (КА).

При рассмотрении жизненного цикла КА выделяются три крупных этапа: выпуск конструкторской документации (КД), изготовление составных частей КА и наземные испытания КА. Выпуску КД отводится половина всего времени создания КА (порядка 13-14 месяцев), производство занимает всего 1/5 (6 месяцев) и на долю испытаний остается 1/3 от всего времени (9 месяцев). В ОАО ИСС имеется ряд разработок по автоматизации процесса выпуска КД (система электронного документооборота, использование электронной цифровой подписи), и работа в этом направлении ведется и по сей день. А потребность в автоматизации процесса наземных испытаний оборудования КА остается. В частности, автоматизация должна затронуть этап разработки документации, сопровождающей испытания, этап проведения самих испытаний и этап выпуска отчетной документации по результатам испытаний.

На сегодняшний день с каждым новым проектом на космический аппарат возлагаются все новые и новые функции, аппаратура становится сложнее и включает в себя все большее количество автономных модулей. Для каждого модуля, прибора или системы приборов существует единая концепция проверок функционирования. Какими бы они разными не были, в любом цикле испытаний можно выделить одни и те же этапы. Если отладка бортового программного обеспечения (БПО) успешно реализована в автоматическом режиме (среда составления циклограмм испытаний ЦИКЛОН на языке Диполь 6), то с электрическими испытаниями ситуация сложная. Вся обработка результатов замеров и наблюдений выполняется вручную. Таким образом, тема автоматизации процесса испытаний КА и составляющих его модулей для предприятий РКТ в настоящее время весьма актуальна.

Несмотря на актуальность проблемы, в настоящее время найдено немного работ по теме автоматизации и управлению технологическими процессами обработки и сопровождения испытаний аппаратуры. В данной работе приведен анализ решений, внедренных на предприятиях ФГУП «Московское ОКБ «Марс»» и ОАО «НПЦ «Полус»» (Томск).

В настоящем исследовании охвачен не весь технологический процесс проведения наземных испытаний КА, а лишь его часть – электрические испытания бортового комплекса управления (БКУ). Технология электрических испытаний других систем КА аналогична.

**Объектом исследования** являются результаты испытаний, получаемые в процессе проведения электрических испытаний бортового комплекса управления.

**Предметом исследования** являются методы автоматизации процессов обработки и анализа данных результатов испытаний, получаемых при проведении электрических испытаний бортового комплекса управления.

**Цель исследования** – ускорение процесса проведения электрических испытаний бортового комплекса управления космического аппарата.

**Задачи исследования:**

1) провести анализ информации, требующей обработки на этапе проведения электрических испытаний бортового комплекса управления;

2) осуществить обзор предлагаемых на сегодняшний день решений по автоматизации технологического процесса обработки результатов испытаний, выделить их слабые и сильные стороны и определить степень применимости к нашему исследованию;

3) предложить новый алгоритм организации и ведения специального информационного обеспечения при автоматизации технологического процесса обработки результатов испытаний бортового комплекса управления, для этого:

- разработать структуру базы данных (БД) электрических испытаний бортового комплекса управления, соответствующую принятому технологическому процессу проведения испытаний,

- разработать алгоритмы управления базой данных,

- разработать систему структурно-зависимых запросов к базе данных, реализуемую посредством предложенных алгоритмов управления БД,

- разработать средство анализа результатов испытаний на соответствие требованиям Технического задания (ТЗ) на аппаратуру бортового комплекса управления;

4) реализовать предложенный алгоритм в виде автоматизированной системы, которая будет обеспечивать обработку и анализ результатов электрических испытаний бортового комплекса управления;

5) провести апробацию новой системы на средствах стенда БКУ в ОАО ИСС и дать рекомендации по дальнейшей её интеграции в перспективную автоматизированную систему информационного сопровождения технологического процесса электрических испытаний бортового комплекса управления.

**Методы исследований:** методы теории оптимального управления, теории алгоритмов, теории баз данных, теории классификации, цифрового моделирования, системного программирования.

**Научная новизна:**

- впервые с использованием СУБД Firebird разработана структура специализированной базы данных электрических испытаний бортового комплекса управления, позволяющая эффективно организовать поиск и извлечение необходимых в технологическом процессе электрических испытаний БКУ данных;

- для специализированной базы данных электрических испытаний бортового комплекса управления разработаны алгоритмы управления базой данных, обеспечивающие её эффективное ведение, то есть проведение контроля корректности формирования импульсов сигналов для разных режимов эксплуатации бортового комплекса управления, проверки выдачи сигналов на внешние устройства космического аппарата и соответствия телеметрических параметров логике функционирования бортового комплекса управления, реализованные посредством системы структурно-зависимых запросов к базе данных;

- разработан алгоритм автоматизированного анализа результатов испытаний на соответствие требованиям Технического задания на аппаратуру бортового комплекса управления, способствующий снижению временных затрат при формировании заключения о допуске аппаратуры к проведению дальнейших испытаний;

- разработана новая распределенная система управления обработкой и анализом результатов испытаний, обеспечивающая организацию и ведение специального информационного обеспечения и позволяющая ускорить технологический процесс проведения электрических испытаний бортового комплекса управления.

**Значение для практики.** Предложенная распределенная автоматизированная система управления обработкой и анализом результатов измерений апробирована на стенде 1.08БКУ ОАО ИСС. Апробация системы показала, что ее применение минимизирует факт появления ошибок, так как исключает множество операций, осуществлявшихся вручную, и сокращает время выпуска отчетного документа в три с половиной раза. Реализованный подход к организации и ведению специального информационного обеспечения имеет практическое значение для предприятий ракетно-космической отрасли при автоматизации обработки результатов испытаний и отработке электрических и логических характеристик приборов и систем.

**Апробация диссертации.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференции «Решетневские чтения-2011» (г. Красноярск), на 11-й Международной конференции «Авиация и комонавтика-2012» (Московский авиационный институт (НИУ), г. Москва), на 2-ой научно-технической конференции ФГУП «КБ «Арсенал» (Балтийский гос. техн. университет, Санкт-Петербург, 2012), на научно-технической конференции молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства» (г. Томск, 2013), на XVII Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники», посвященной 119-й годовщине Дня Радио (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, 2014) (доклад отмечен Дипломом III степени).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 2 по перечню ВАК.

**Структура диссертации.** Диссертация изложена на 168 страницах и состоит из введения, трёх глав, заключения и трёх приложений. Список литературы содержит 114 наименований. Работа иллюстрирована 18 рисунками и содержит 4 таблицы.

### Содержание работы

Во **введении** представлена актуальность работы, цель и задачи исследования, раскрыта её научная новизна, теоретическая и практическая ценность исследования и приведено краткое содержание работы.

В **первой главе** описаны характеристики, получаемые в технологическом процессе испытаний бортового комплекса управления. Проведен анализ информации, требующей обработки на этапе проведения электрических испытаний бортового комплекса управления.

Бортовой комплекс управления является ядром модуля служебных систем (МСС) космического аппарата и должен обеспечивать:

- 1) управляющую среду для реализации задач контуров управления бортовых систем КА;
- 2) организацию автономного контура управления КА;
- 3) информационно-логическое взаимодействие с внешним контуром управления КА.

В состав бортового комплекса управления входит следующая аппаратура (Рисунок 1):

- КИС – командно-измерительная система для решения задач по взаимодействию с наземным комплексом управления (НКУ), а также для приема и ретрансляции сигнала измерения дальности (на КА «KazSat-3», «Экспресс-

АТ1,АТ2,АМ8» не входит в состав бортового комплекса управления и является внешним устройством по отношению к элементам БКУ);

- БАТС – бортовая аппаратура телесигнализации для сбора и формирования телеметрической информации для выдачи по запросу в бортовой компьютер (БЦВК) и для выдачи во внешний контур управления;

- БЦВК – бортовой цифровой вычислительный комплекс, бортовой компьютер;

- БУ БКУ – блок управления для решения коммутационно-логических задач;

- БИ БКУ – дополнительный блок интерфейсный для обеспечения связи между элементами БКУ и блоками управления напряжением.

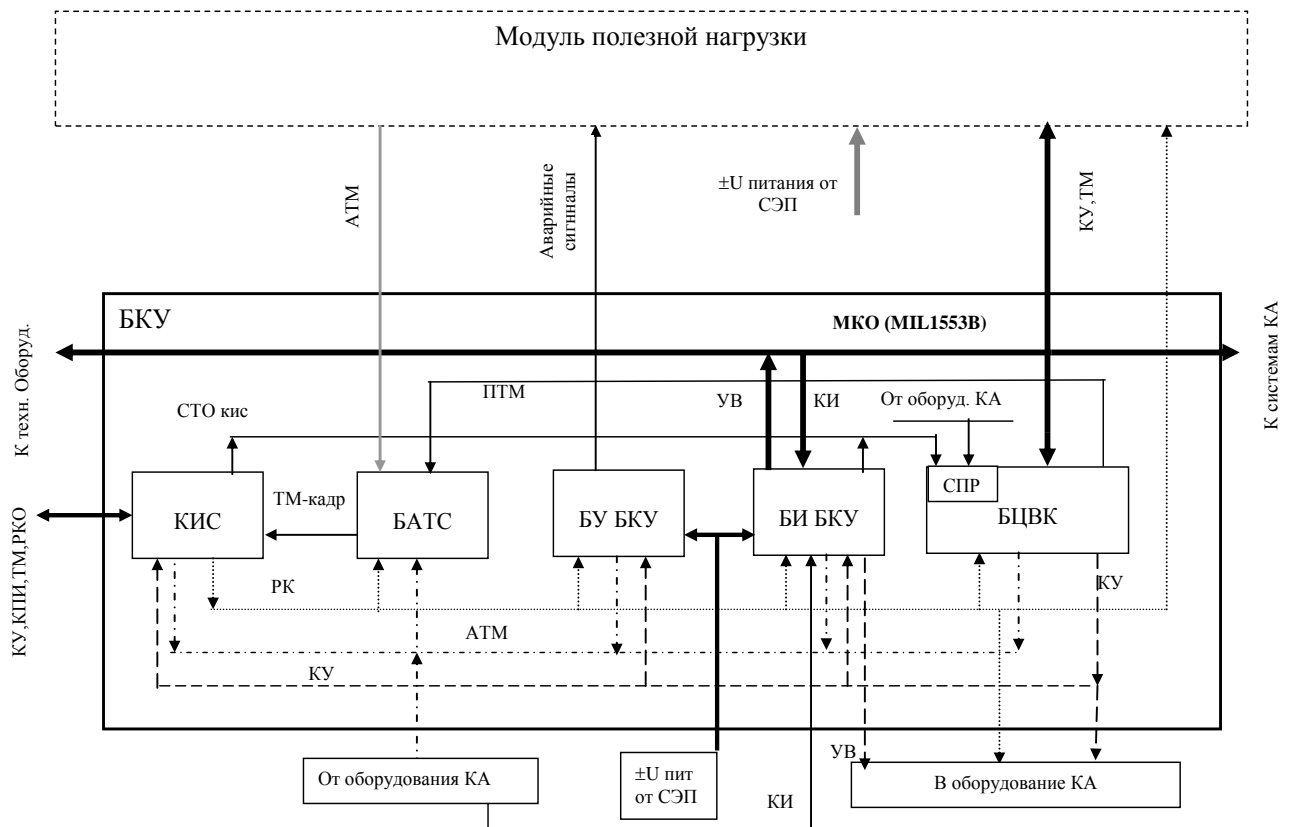


Рисунок 1. Структурная схема БКУ

Стенд БКУ используется для первоначальной комплексной отработки БКУ и его составных частей всех КА разработки ОАО ИСС. Изделие, поставляемое на стенд БКУ для отработки имеет обозначение «XXXX.1.08БКУ». Отработка бортового комплекса управления в составе изделия 1.08БКУ на стенде БКУ предшествует испытаниям в составе КА и является обязательным этапом

отработки, предусмотренным комплексной программой экспериментальной отработки (КПЭО) КА.

Схема технологического процесса проведения испытаний БКУ представлена на Рисунке 2.

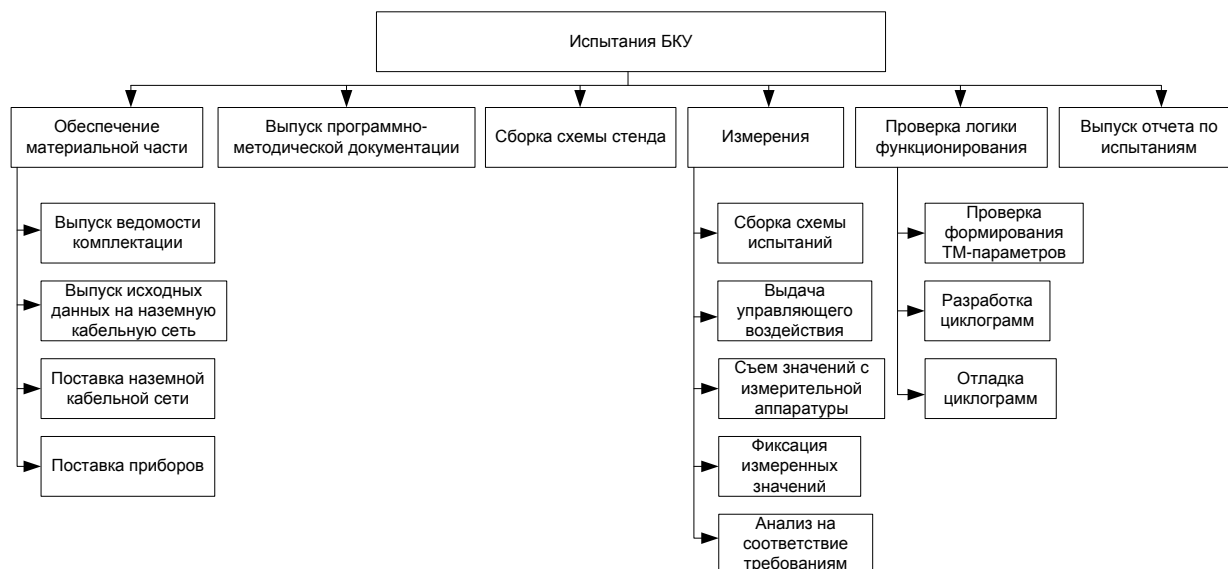


Рисунок 2. Схема технологического процесса проведения испытаний БКУ

На стенде БКУ проверяется функционирование аппаратуры в следующих режимах работы бортового комплекса управления:

- 1) режим приема радиокоманд и массивов командно-программной информации;
- 2) режим непосредственной передачи телеметрической информации;
- 3) режим приема отчетной информации из ОЗУ БЦВК и БАТС;
- 4) режим информационного взаимодействия элементов БКУ между собой и с внешними устройствами по мультиплексному каналу обмена (МКО);
- 5) режим отработки аварийных сигналов.

Также при отработке проверяется электросовместимость аппаратуры бортового комплекса управления. Параллельно с измерениями характеристик сигналов проходит проверка своевременного формирования соответствующих телеметрических параметров с помощью реализованной среды АИК (автоматизированный испытательный комплекс – комплекс ЭВМ, осуществляющий выдачу радиокоманд, массивов командно-программной информации и получение ТМ-информации в режиме непосредственной передачи).

Во всех режимах работы на трактах между устройствами (тракт КИС – БЦВК, БЦВК – БАТС, БАТС – БУ и др.) измеряются и анализируются на предмет соответствия требованиям Технического задания основные характеристики



импульсных сигналов, проходящих по трактам обмена между элементами бортового комплекса управления (Рисунок 3):

- амплитуда импульса  $U_{и}$ ;
- амплитуда переднего фронта или выброса  $U_{в}$  (от  $U_{и}$  до  $U_{max}$ );
- амплитуда заднего фронта  $U_{с}$  (от 0 до  $U_{min}$ );
- длительность импульса  $t_{и}$  (на уровне  $0,5U_{и}$ );
- длительность переднего фронта  $t_{ф1}$  (от  $0,1U_{и}$  до  $0,9U_{и}$ );
- длительность заднего фронта  $t_{ф2}$  (от  $0,1U_{и}$  до  $0,9U_{и}$ );
- длительность выброса  $t_{в}$  (на уровне  $U_{и}$ );

Также контролируются сопутствующие параметры:

- сопротивление нагрузки  $R_{н}$ ;
- ток импульса  $I_{и}$ ;
- ток утечки  $I_{у}$ ;
- входная емкость  $C_{вх}$ .

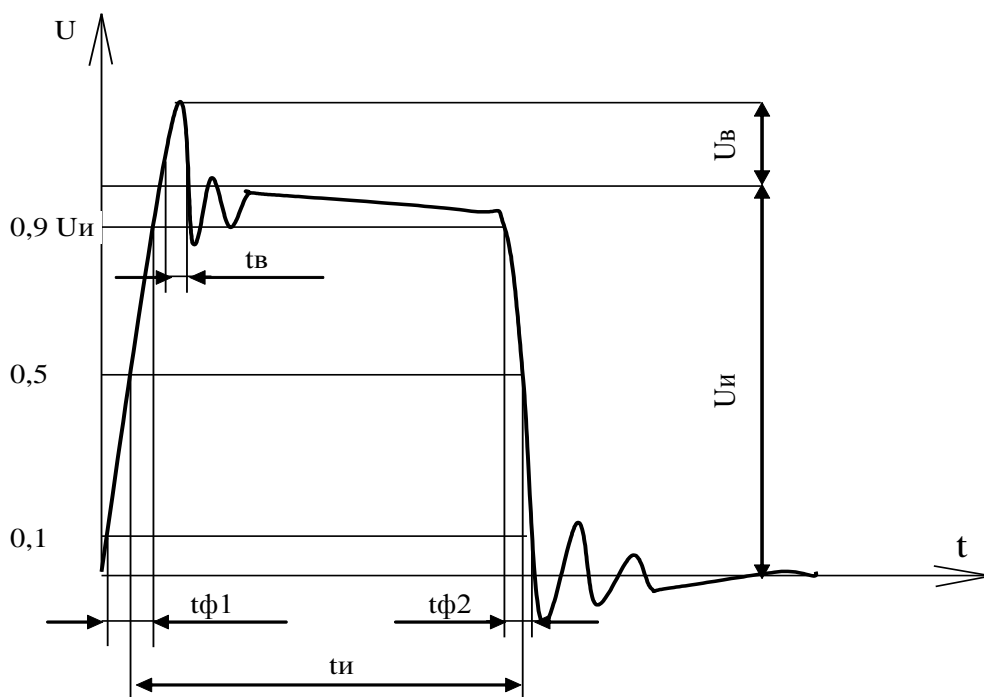


Рисунок 3. Форма импульса сигнала

Объем требуемых измерений изделия 1.08БКУ определяется путем сложения количества замеров для каждого типа интерфейсов. Состав интерфейсов варьируется от изделия к изделию, поэтому выделим только основные необходимые интерфейсы. Это контроль исполнения команд по интерфейсу RS-232 и интерфейсу обмена данными МКО, телеметрический (формирование телеметрической информации) и цифровой (типа реле). По опыту предыдущих работ для элементов БКУ набирается общая сумма  $\approx 2500$  измерений.

Отработка изделия 1.08БКУ проводится с технологическими комплектами приборов БКУ и позволяет выявить возможные конструкторские ошибки и недочеты, допущенные разработчиком прибора-элемента БКУ, ещё до начала изготовления штатной аппаратуры КА. Проведение электрических испытаний БКУ предоставляет разработчику возможность откорректировать КД на штатный прибор.

В силу того, что отработка бортового комплекса управления на стенде БКУ – важный этап технологического процесса проведения испытаний космического аппарата и включает в себя большой объем обязательных измерений и последующий анализ полученных результатов на соответствие требованиям ТЗ, очевидно, что необходимо проведение мер по снижению трудоемкости технологического процесса проведения электрических испытаний бортового комплекса управления.

Так, анализ данных испытаний, проведенный в настоящей главе, показал целесообразность работы по автоматизации обработки и анализа результатов электрических испытаний бортового комплекса управления.

Также приведен обзор предлагаемых на сегодняшний день в ракетно-космической отрасли решений по автоматизации технологического процесса обработки результатов испытаний.

Если обратиться к западным стандартам в указанной области, в частности к стандарту ASD S1000D, его применение требует определенной адаптации, учитывающей требования российской нормативной базы: стандартов ЕСКД и военных стандартов РФ. К тому же зарубежные стандарты содержат только требования к оформлению документации в электронной форме и не содержат конкретных методик. Все это обуславливает необходимость разработки комплексной методики создания и сопровождения электронной документации, основанной на использовании базовых информационных моделей, описанных в международных стандартах и спецификациях типа ASD S1000D.

Далее рассмотрены разработки ФГУП Московское ОКБ «Марс» и ОАО Научно-производственный центр «Полус» (г. Томск).

Результатом разработок ФГУП Московское ОКБ «Марс» является электронная форма документов, сопровождающих производство и испытания механических деталей мелкосерийного производства. Электронная форма документов (ЭФД), введенная в оборот в МОКБ «Марс», используется не только для быстрого внесения изменений в документацию, но и для быстрого поиска и оперативного и автоматизированного заимствования из документа необходимой информации. В качестве системы управления данными в МОКБ «Марс» используется система ЛОЦМАН:PLM российской компании АСКОН.

Технологические процессы проведения испытаний в настоящий момент не автоматизированы.

В ОАО НПЦ «Полюс» внедрена Автоматизированная система управления инженерными данными и производством (АСУ ИДиП). АСУ ИДиП содержит в себе шаблоны документов, в частности это перечни элементов, спецификации, ведомости покупных изделий, и позволяет создавать новые документы, а при наличии следующих версий (с поправками) хранит абсолютно все предыдущие версии документа. Т.е. любому пользователю этой системы в любой момент времени доступны как файл-оригинал, так и все предыдущие его версии. В качестве платформы для АСУ ИДиП выбрана 1С:Предприятие 8.0. Сейчас специалисты лаборатории САПР гордятся разработкой АСУ ИДиП, ведь даже представители сторон заказчика сейчас пользуются её возможностями.

Частные решения этих предприятий невозможно «переложить» на задачи, поставленные в диссертационном исследовании, так как они предназначены больше для реализации электронного документооборота и не решают задач непосредственно испытаний и обработки данных измерений. В ОАО ИСС уже внедрена АСУ SmarTeam производства Dassault Systemes, и необходимо учесть присоединение к ней в дальнейшем в целях электронного согласования полученной документации.

Таким образом, в настоящей главе проведен анализ информации, требующей обработки на этапе проведения электрических испытаний бортового комплекса управления и охарактеризованы результаты разработок в направлении автоматизации процесса обработки результатов испытаний ФГУП Московское ОКБ «Марс» и ОАО Научно-производственный центр «Полюс» (г. Томск).

Во **второй главе** представлено описание разработанной структуры базы данных электрических испытаний БКУ, алгоритмов управления БД и системы запросов к БД. Для выполнения этой задачи выбрана система управления базой данных Firebird и оператор SQL Manager for Interbase. Firebird – оптимальная для выполнения поставленных задач СУБД, позволяющая организовать мощную сетевую БД с удобной системой запросов и «быстрых» отчетов. К тому же Firebird полностью бесплатна для использования и распространения и содержит открытый исходный код.

Структура базы данных построена по стандартной схеме «снежинка», которая представлена централизованной таблицей фактов, соединенной с таблицами измерений. Отличием от схемы «звезда» является то, что здесь таблицы измерений нормализованы с рядом других связанных измерительных таблиц, — в то время как в схеме «звезда» таблицы измерений полностью денормализованы. Таблицы нормализованы в малой степени, не выше третьего уровня нормализации.

Решение в сторону использования схемы «снежинка» обусловливается относительной мощностью платформы базы данных, и инструментария для реализации запросов. Такая схема подходит для реализации запроса, который в большей степени изолирует пользователей от детальной структуры таблиц, а также для среды с множеством запросов сложной структуры.

Внешние связи между таблицами зачастую возможно прорисовать только после заполнения одной строки таблиц базы данных. Так, путем новых транзакций, поправок и откатов, достигается стройность в структуре БД. Представление таблиц и связей между ними представлено на Рисунке 4.

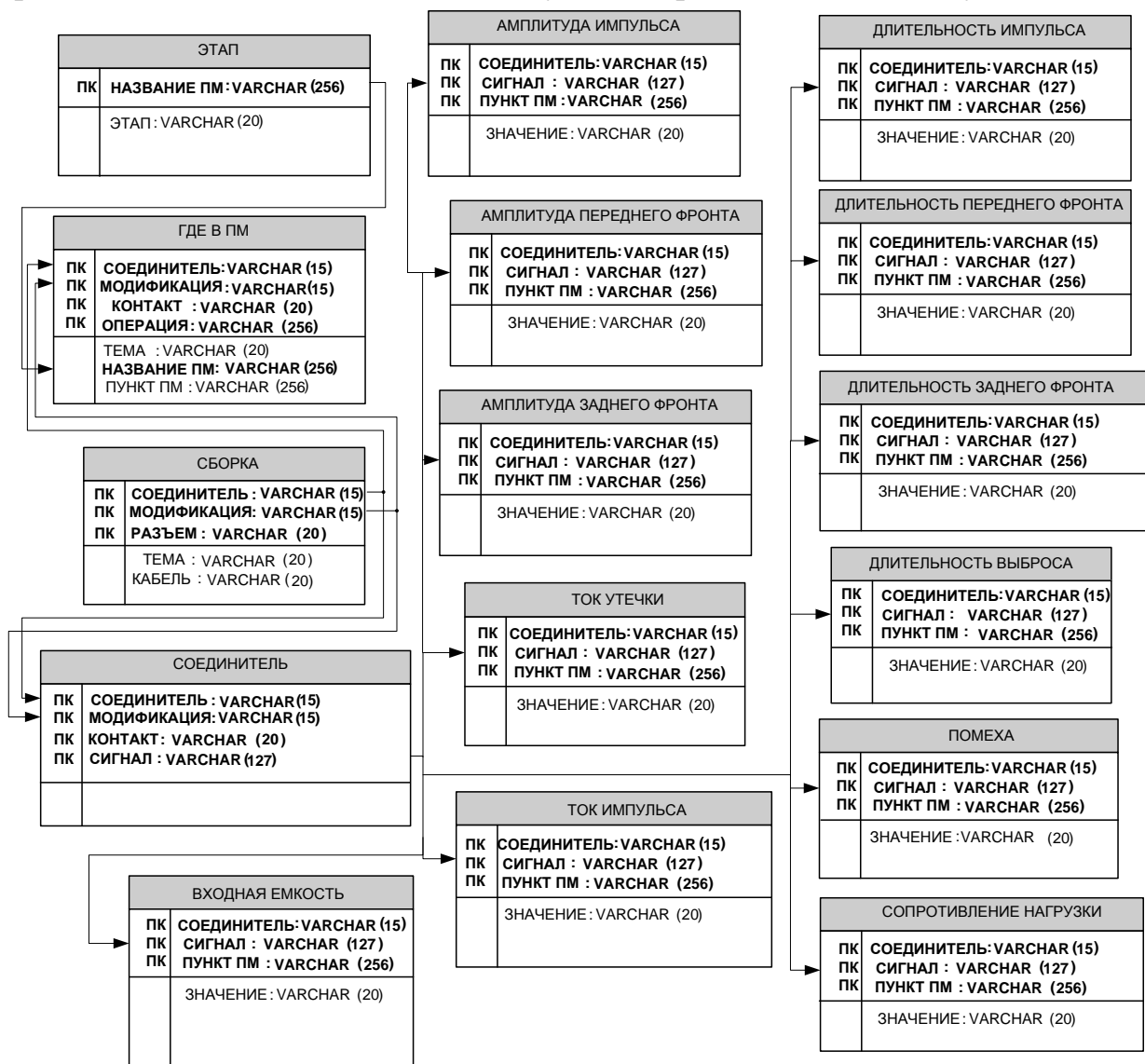


Рисунок 4. Визуальное представление БД

База данных выполняет функции хранилища информации, содержание которой рассмотрено в первой главе. База данных содержит в себе эталонные значения характеристик электрических импульсов, значения, которые соответствуют Техническому заданию на аппаратуру. Для разработки алгоритмов управления этими данными необходимо разбить всю информацию на блоки. Один

содержит характеристики импульсных сигналов для разных режимов эксплуатации бортового комплекса управления, другой – значения логической «0/1», третий – телеметрические параметры в соответствии с логикой функционирования бортового комплекса управления.

Алгоритмы управления описанными выше блоками информации реализованы при помощи системы запросов к БД и извлекают данные, удовлетворяющие определенным условиям. Соответственно выделены 3 типа запросов. Запросы относятся к типу структурно-зависимых запросов к базе данных; изменения в структуре БД тут же повлекут за собой изменение содержимого запросов к ней.

Приведен один из вариантов запроса, составленного для созданной базы данных, который отображает характеристики сигналов на входах/выходах бортового цифрового вычислительного комплекса. Выбор модификации БЦВК осуществляется с помощью диалогового окна (Рисунок 5).

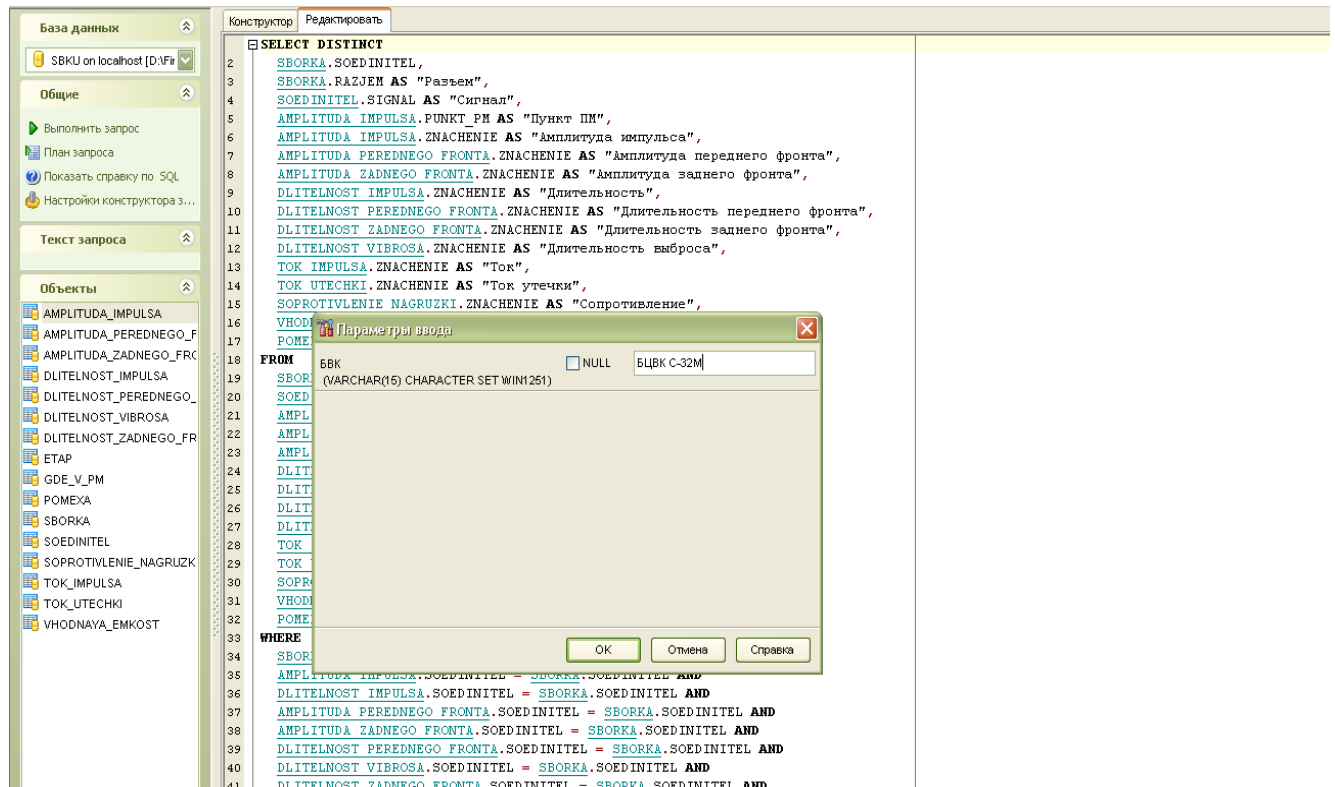


Рисунок 5. Диалоговая форма запроса

Результат запроса можно экспортировать в форматы Microsoft Excel, MS Word, MS Access, HTML, PDF и др.

Отчеты и средства, позволяющие их создавать, – очень важная часть. Ведь разнородные сведения, хранимые в базе данных, еще не представляют ценности для пользователей, им нужны систематизированные данные. С помощью визуального редактора отчетов FastReport получены отчеты по соединителям и сигналам с соответствующими им характеристиками, измеряемыми в

технологическом процессе проведения электрических испытаний бортового комплекса управления. Отчеты построены на основе запроса, написанного на языке SQL.

Как любой технологический процесс, испытания бортового комплекса управления имеют несколько основных этапов:

- 1) непосредственно измерение характеристик импульсных сигналов, фиксация телеметрических параметров и прочее;
- 2) ввод измеренных значений в некое информационное пространство;
- 3) обработка полученных измерений;
- 4) вывод информации по результатам измерений, обработанных в соответствии с алгоритмом, в форме, обеспечивающей оперативное и безошибочное восприятие её пользователями (участниками технологического процесса).

Для реализации этапа измерений требуется разработка специализированных аппаратно-программных средств, при наличии которых появится возможность проводить практически все измерения автоматически. В настоящее время ведется работа по проектированию этих аппаратно-программных средств.

В данной работе рассмотрены варианты решения задач автоматизации этапов обработки и вывода информации измерений, автоматизация же первого этапа станет целью будущих работ.

Предложен алгоритм автоматизированного анализа результатов испытаний, который в дальнейшем ляжет в основу системы управления процессом обработки результатов электрических испытаний БКУ. После фиксации измеренных параметров в соответствующих полях в автоматическом режиме система проводит их анализ на предмет: «норма» и «ненорма». В этой связи и потребуется база данных, структура и содержимое которой представлено ранее. База содержит значения, определяемые требованиями Технического задания на бортовой вычислительный комплекс. Инструменты среды программирования C++ Builder позволят извлекать необходимую информацию из базы данных параметров и проводить сравнение значений, полученных в результате испытаний реальной аппаратуры БКУ со значениями, заданными в Техническом задании на эту аппаратуру. Для оцифровывания данных с осциллографов применяется среда LabVIEW.

Проверка характеристик сигналов	
4 Гц	
Амплитуда импульса, В	соответствует
Длительность импульса, мкс	соответствует
Длительность переднего фронта, мкс	не соответствует
Длительность заднего фронта, мкс	соответствует
Амплитуда переднего фронта, В	не соответствует
Амплитуда заднего фронта, В	соответствует
Длительность выброса, мкс	не соответствует
Сопротивление нагрузки, Ом	соответствует
Ток импульса, А	
Ток утечки, мА	
Входная емкость, пФ	соответствует

OK

Рисунок 6. Ввод данных измерений и вывод результата сравнения

Алгоритм анализа результатов, получаемых в технологическом процессе проведения электрических испытаний бортового комплекса управления состоит в следующем. Измеренное значение параметра считывается с измерительных приборов и записывается в специально выделенное поле «значение параметра». Далее это значение сравнивается со значением, полученным при помощи соответствующего запроса к базе данных параметров. Результат сравнения фиксируется в поле результата. Вариантов два: «соответствует» и «не соответствует» (Рисунок 6). Программа считывает поле результата и производит следующие действия: если в поле записано «соответствует», то она переходит в

режим готовности записи следующего параметра (инкремент=1), если же в поле записано «не соответствует», то она переходит на вкладку замечаний и в поле несоответствий производит запись. Запись в поле несоответствий включает в себя следующие обязательные столбцы: имя параметра, замеренное значение параметра, значение этого параметра в базе данных. Система гибкая, имеет возможность добавить в данное поле по необходимости другие столбцы. После этого шага программа переходит в режим готовности записи следующего параметра (инкремент=1). Таким образом, предложенный алгоритм цикличен, число циклов соответствует количеству параметров, которые необходимо проверить.

Предложенная система распределенная: несколько ЭВМ задействовано в АИК и контрольно-проверочной аппаратуре (КПА) приборов БКУ, остальные – это персональные компьютеры испытателей. С АИК на объект испытаний (приборы БКУ) выдается управляющее воздействие (команды или массивы командно-программной информации). Одна ЭВМ, назовем её «Монитор», будет сервером: на него поступают данные с измерительных приборов (осциллографов, вольтметров) и происходит обработка этих данных для придания нужного вида. Компьютеры испытателей, имея доступ к БД параметров электрических испытаний БКУ, будут запрашивать обработанные данные с Монитора и производить сравнение полученных значений со значениями из БД. По окончании анализа у пользователя есть возможность запросить сделать повторное измерение либо запустить следующее по очереди (Рисунок 7 и 8).

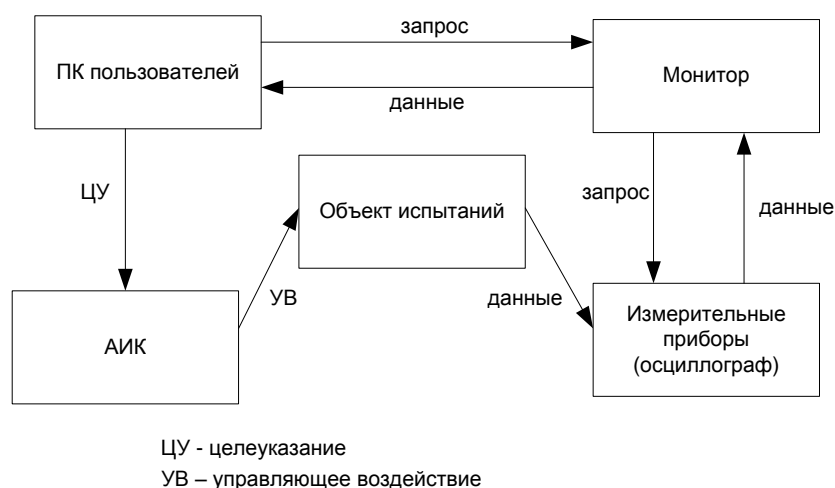


Рисунок 7. Схема информационных потоков системы

В вышеописанной системе «человек-машина» за оператором испытаний остаются функции сбора/компоновки схемы измерений, настройки (порог чувствительности, точность измерения и т.д.) осциллографа, оцифровывающего крейта и других измерительных приборов, выдача управляющего воздействия.





Все протоколы испытаний записываются и хранятся на Мониторе. Вследствие этого предложенная система имеет достаточно «прозрачную» структуру. Это сделано, в первую очередь, для того, чтобы постоянно контролировать работу системы, её корректность.

Ошибка при выполнении действий по предложенному алгоритму обусловлена погрешностью измерительной аппаратуры. С целью исключения ошибок при анализе данных измерений предусмотрена проверка удовлетворения полученных значений эталону с учетом допуска погрешности измерительной аппаратуры.

Так, в настоящей главе описан алгоритм автоматизированного анализа результатов испытаний, полученных в технологическом процессе проведения электрических испытаний БКУ. Охарактеризована построенная в соответствии с предложенным алгоритмом распределенная система управления обработкой результатов электрических испытаний БКУ.

В **третьей главе** представлены результаты апробации новой системы на стенде 1.08БКУ ОАО ИСС. Сформулированы основные положения существующей методики отработки алгоритмов и характеристик бортового комплекса управления для стенда БКУ (ОАО ИСС), что необходимо для автоматизированного выпуска отчетной документации технологического процесса проведения электрических испытаний БКУ.

В отчете по результатам электрических испытаний бортового комплекса управления должны быть наглядно представлены действия над объектом испытаний, измеренные характеристики аппаратуры и программно сформированные параметры, заключение о допуске, выводы и рекомендации, отчеты по отдельным циклам (процедурам) и итоговый отчет по испытаниям прибора (модуля).

Разработана электронная форма документа (ЭФД) (Рисунок 10), включающая в себя следующие поля:

- Индекс КА;
- Состав БКУ: индекс прибора, инвентарный №, разновидность модификации, особенности;
- Название этапа испытаний;
- Направление сигнала, название тракта, тип линии, условия (сопротивление);
- Результаты измерений.

Изделие	ЛУЧ-5В	Характеристики импульса сигнала:	
Объект испытаний	БИВК 14М337	Амплитуда импульса, В	8,5
Версия БПО	11.048 от 30.05.2013	Длительность импульса, мкс	4
Сборка схемы	БУ БКУ 757-1512-0-01	Длительность переднего фронта, мкс	1,1
	БИ БКУ 757-2512-0-01	Длительность заднего фронта, мкс	0,3
	БИВК 14М337	Амплитуда переднего фронта, В	1
	БАТС ТА932МД-0413Р	Амплитуда заднего фронта, В	0,5
	КИС 14М331-Д2	Длительность выброса, мкс	0,3
Направление сигнала	БИВК -> КИС	Сопротивление нагрузки, Ом	110
Тип сигнала	КРЛ, ПРЛ	Ток импульса, А	0,03
		Ток утечки, мА	0
		Входная емкость, пФ	2000

Рисунок 10. Шаблон ЭФД

Шаблон ЭФД возможно дополнять, изменять для повышения её универсальности в части применения к любому типу аппаратуры для космических аппаратов, применяющихся на всех типах орбит.

Предложенная система автоматизации и управления обработкой результатов испытаний полезна тем, что минимизирует факт появления ошибок, связанных с человеческим фактором, так как исключает множество операций, осуществляемых вручную. Также, для подтверждения эффективности методики, проведен предварительный сравнительный анализ количества времени, необходимого испытателю, чтобы выпустить отчетный документ. Так, выпуск отчета по испытаниям бортового комплекса управления занимал у специалиста порядка 7-8 рабочих дней. А с использованием автоматизированной системы обработки и анализа результатов испытаний этот процесс занимает всего 2 дня. Таким образом, производительность труда выросла в 3,5 раза.

Обеспечено достижение цели диссертационного исследования – повышение эффективности проведения электрических испытаний бортового комплекса управления за счет снижения в три с половиной раза трудоемкости выпуска отчета по испытаниям бортового комплекса управления на стенде БКУ.

Предложенная система будет интегрирована в перспективную автоматизированную систему технологического процесса сопровождения электрических испытаний бортового комплекса управления.

## Заключение

Основные результаты работы и выводы заключаются в следующем:

1. Проведен анализ информации, требующей обработки на этапе проведения электрических испытаний бортового комплекса управления, включающей в себя все режимы работы бортового комплекса управления, сигналы на линии и трактах между элементами бортового комплекса управления и внешними устройствами КА, телеметрические параметры. Анализ показал необходимость систематизации большого объёма данных и автоматизации их обработки.

2. Проведен обзор предлагаемых на сегодняшний день решений автоматизации технологического процесса обработки результатов испытаний, выделены их слабые и сильные стороны и определена степень применимости этих решений к проведению электрических испытаний бортового комплекса управления. Сделан вывод о невозможности применения частных решений предприятий ракетно-космической техники РФ для поставленных в работе задач и необходимости создания принципиально нового информационного обеспечения автоматизации и управления технологическим процессом обработки и анализа результатов испытаний.

3. Предложен новый алгоритм организации и ведения специального информационного обеспечения при автоматизации технологического процесса обработки результатов электрических испытаний бортового комплекса управления, для реализации которого:

- разработана структура базы данных электрических испытаний бортового комплекса управления, соответствующая принятому технологическому процессу проведения испытаний,
- разработаны алгоритмы управления базой данных,
- разработана система структурно-зависимых запросов к базе данных, реализуемая посредством предложенных алгоритмов управления БД,
- разработано средство анализа результатов измерений на соответствие требованиям Технического задания на аппаратуру бортового комплекса управления.

4. Предложенный алгоритм реализован в виде автоматизированной системы, которая обеспечивает обработку и анализ результатов технологического процесса проведения электрических испытаний бортового комплекса управления. Новая система не только повышает качество выполняемых работ, но и позволяет ускорить технологический процесс проведения электрических испытаний бортового комплекса управления.

5. Проведена апробация новой системы на стенде 1.08БКУ ОАО ИСС. Представлена электронная форма отчетного документа в среде программирования C++Builder. Сделан вывод о том, что предложенная система сможет быть

интегрирована в перспективную систему автоматизации и управления технологическим процессом проведения электрических испытаний бортового комплекса управления.

Автоматизация процесса обработки и анализа результатов электрических испытаний бортового комплекса управления значительно сократит срок проведения электрических испытаний бортового комплекса управления и положит начало автоматизации технологического процесса проведения испытаний всего космического аппарата.

### Публикации

1) Хасанова Р. А. Автоматизированный выпуск документации на этапе электрических испытаний бортовой аппаратуры космического аппарата / Р. А. Хасанова // Решетневские чтения: материалы XV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космических систем акад. М. Ф. Решетнева (10-12 ноября 2011, г. Красноярск): в 2ч. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011. – Ч. 1. С. 719-720.

2) Хасанова Р. А. Автоматизированная обработка результатов испытаний космического аппарата / Р. А. Хасанова // Инновационный арсенал молодежи: труды 2-й научно-технической конф. / ФГУП КБ «Арсенал»; Балтийский гос. техн. ун-т. – СПб, 2012. – С. 215-217.

3) Хасанова Р. А. Анализ программного обеспечения автоматизации испытаний космического аппарата / Р. А. Хасанова // Вестник СибГАУ: Вып. 3(43). – Красноярск, 2012 – С. 87-91.

4) Хасанова Р. А. Автоматизация выпуска документации испытаний бортового комплекса управления / Р. А. Хасанова, С. А. Рябушкин, Е. Н. Голубев // Материалы 11-й Международной конференции «Авиация и космонавтика-2012» (13-15 ноября 2012, Москва) / Московский авиационный институт (научно-исследовательский университет). – М., 2012. – С. 234-236.

5) Хасанова Р. А. Автоматизация электрических испытаний бортового комплекса управления / Р. А. Хасанова, С. А. Рябушкин, Е. Н. Голубев // Материалы научно-техн. конф. молод. спец-ов «Электронные и электромеханические системы и устройства» (14-15 февраля 2013, г. Томск)/ ОАО НПЦ «Полус», Томск, 2013. – С. 238-239.

6) Хасанова Р. А. Автоматизированная система обработки результатов испытаний космических аппаратов/ Р. А. Хасанова, А. Н. Антамошкин// Фундаментальные исследования, электронное издание. – вып. 6 (2), 2013 – М.: Академия естествознания – С. 315-318.

7) Хасанова Р. А. Распределенная система обработки и анализа результатов электрических испытаний бортового комплекса управления / Р. А.

Хасанова // Материалы VI научно-техн. конф. молод. спец-ов (10-11 апреля 2013, г. Екатеринбург) / ФГУП «НПО автоматики» имени академика Н.А. Семихатова», Екатеринбург, 2013. – С.156-159.

8) Хасанова Р. А. Метод автоматизированной обработки результатов электрических испытаний бортового комплекса управления / Р. А. Хасанова // Международный научно-исследовательский журнал. – вып. 5(12) – Екатеринбург, 2013 – С. 5-7.

9) Хасанова Р. А. Автоматизированная система обработки и анализа результатов электрических испытаний бортового комплекса управления / Р. А. Хасанова // Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники» (6-8 мая 2014, г. Красноярск) / Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2014 – С. 256-259.